

на расстояниях 5-25 см от центра диполя, показал, что поток фоновой плазмы формирует вокруг диполя магнитосферу масштабом  $\sim 20$  см. Пролет лазерной плазмы через эту магнитосферу показывает необычные магнитные возмущения. Также было проверено что электрические и магнитные зонды, установленные на расстоянии 60 см от диполя, показывают тот же эффект приноса потоком лазерной плазмы в замороженном дипольном поле как и в предыдущих экспериментах [3-4]. Одной из обнаруженных особенностей является значительная генерация компоненты, перпендикулярной исходному дипольному полю, а также направлению потока плазмы. Предварительный вывод проведённого эксперимента говорит о том, что это вероятно связано с проявлением Холловских или двухжидкостных эффектов, на масштабе ионно-плазменной длины (при меньшей концентрации), когда электроны и ионы могут двигаться по существенно разным линиям тока.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 18-12-00080, проектов РФФИ 18-29-21018 и 19-02-00993, а также в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-А17-117021750017-0).

Список публикаций:

- [1] Antonov V. M., et al. // *The Astrophysical Journal* 2013. V. 769. P. 28
- [2] Khodachenko M. L., et al. // *The Astrophysical Journal* 2015. V. 813. P. 50
- [3] Shaikhislamov I. F. et al. // *Plasma Physics Reports*. 2015. V. 41. PP. 399-407.
- [4] Shaikhislamov I. F. et al. // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. 2016. V. 58. P. 115002.

## Локальные магнитные измерения в винтовой магнитной ловушке СМОЛА

**Ломов Константин Андреевич**

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет*

Судников Антон Вячеславович, к.ф.-м.н.

[k.lomov@g.nsu.ru](mailto:k.lomov@g.nsu.ru)

Одной из новейших идей по улучшению параметров удержания плазмы в открытых магнитных ловушках является концепция подавления продольных потерь из ловушки за счёт динамического многопробочного удержания винтовыми пробками с управляемым вращением плазмы [1]. Для экспериментальной проверки этой концепции в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН была создана установка СМОЛА (рис. 1а), состоящая из входного расширителя с источником плазмы, транспортной секции с прямым и винтовым соленоидами и выходного расширителя с радиально сегментированным плазмодриёмником [2]. Основные параметры установки: плотность плазмы  $n_i \sim 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , электронная температура плазмы  $T_e \sim 5$  эВ, ведущее магнитное поле в винтовой секции  $B_{\text{max}} = 0,1 - 0,3$  Тл, радиальное электрическое поле до  $E_r \sim 100$  В/см, радиус плазмы  $r \sim 5$  см, средняя по сечению глубина перепада магнитного поля вдоль силовой линии  $R_{\text{mean}} = 1,5 - 2$ . В ходе первой серии экспериментов на СМОЛА были подтверждены основные предположения концепции: подавление аксиального потока плазмы и пинч-эффект в плазменном шнуре [3].

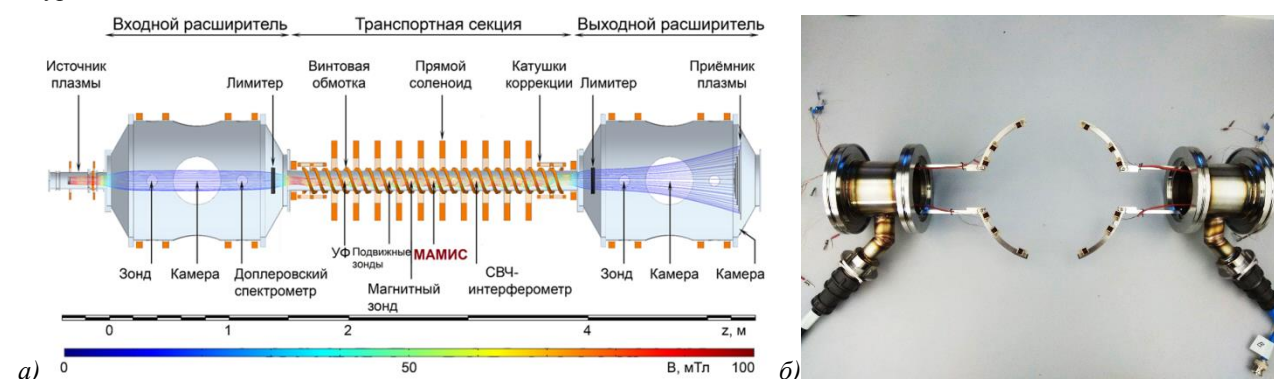


рис. 1. а) Схема установки СМОЛА. б) Фотография многоканальной азимутальной магнитной измерительной системы перед монтажом в установку.

При исследовании структуры магнитного поля в транспортной секции установки одиночными магнитными зондами было обнаружено возмущение азимутальной компоненты поля на частоте около 20 кГц. При включении винтового соленоида частота возмущения возрастает приблизительно в 1,2 раза. Для более подробного изучения наблюдаемого эффекта разработана многоканальная азимутальная магнитная измерительная система из 12 магнитных зондов внутри вакуумной камеры (катушки длиной 5 мм и диаметром 5 мм), распределённых по азимутальной координате и отстоящих на 70 мм от оси установки (рис. 1б).

Теоретический расчёт параметров катушки [4] показал, что 100-витковая катушка с указанными геометрическими параметрами и разрядность используемого АЦП позволят детектировать на частоте 20 кГц возмущения магнитного поля амплитудой от 1 мкТл, а собственная резонансная частота системы составит более 1 МГц. Тогда можно пренебречь паразитной ёмкостью системы и использовать для пересчёта напряжения на АЦП  $U(t)$  в величину магнитного поля в катушке  $B(t)$  выражение

$$B(t) = B(0) + \frac{1}{S_{эфф}} \left[ \frac{L_p}{z_0} (U(t) - U(0)) + \left( 1 + \frac{R_p}{z_0} \right) \int_0^t U(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где  $S_{эфф}$  – эффективная площадь,  $L_p$  – собственная индуктивность,  $R_p$  – активное сопротивление катушки,  $Z_0 = 51$  Ом – входное сопротивление АЦП (согласовано с волновым сопротивлением соединительного кабеля).

Для калибровки катушек использовался стенд (рис. 2а) из конденсатора МБВГ 500 В,  $C = 160$  мкФ (1), катушек Гельмгольца из 2х30 витков,  $R_H = 8$  см (2), эталонной катушки из 10 витков,  $R_C = 8$  см (3), измерителя тока HASS 300-S (4), калибруемой измерительной катушки (5). При разрядке конденсатора в центре катушек Гельмгольца создаётся импульсное магнитное поле с высокой степенью однородности. Величина магнитного поля пересчитывается из показаний АЦП по формуле (1) для эталонной катушки с известной эффективной площадью и для калибруемой катушки (значения индуктивности и активного сопротивления катушек определяются с помощью измерителя иммитанса). Совпадение сигналов достигается подбором значения  $S_{эфф}$  для калибруемой катушки (рис. 2б). В результате калибровки было получено значение эффективной площади катушек  $S_{эфф} \sim 25$  см<sup>2</sup> с относительной погрешностью менее 1 %. После калибровки измерительная система была установлена в центральную секцию СМОЛА.

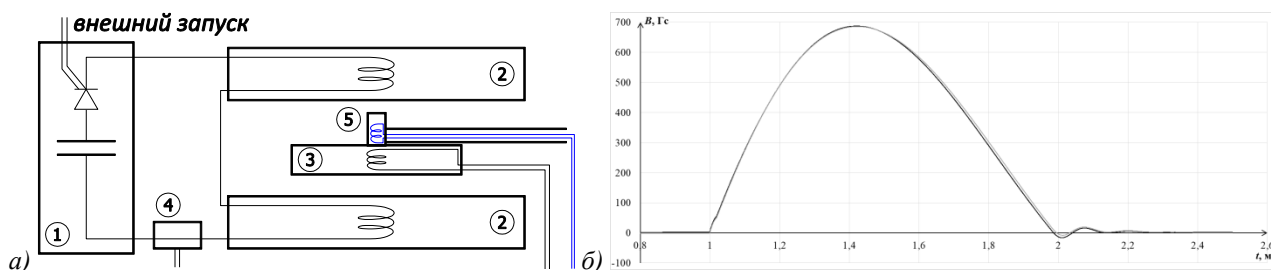


рис. 2. а) Схема калибровочного стенда. б) Пример пересчёта показаний АЦП в индукцию магнитного поля: серая линия – по эталонной катушке; чёрная линия – по измерительной катушке. Совпадение показаний достигнуто подбором  $S_{эфф}$ .

По значениям азимутального магнитного поля в 12 координатах восстанавливается азимутальная структура возмущения продольного тока в установке до 5 моды включительно. Для исследования возмущений применяется оконное преобразование Фурье и сингулярное разложение. В докладе представлены математические методы интерпретации сигнала магнитной измерительной системы и результаты исследования пространственной структуры тока в плазменном шнуре установки.

Список публикаций:

- [1] A. D. Beklemishev // *Fusion Sci. Technol.* 63 (1T) (2013) 355–357.
- [2] A. V. Sudnikov et al. // *Fusion Engineering and Design.* 122, 85 (2017).
- [3] A. V. Sudnikov et al. // *Plasma and Fusion Res.* 14, 2402023 (2019).
- [4] M. J. Hole et al. // *Rev. Sci. Instrum.* 80, 123507 (2009).

## Измерение распределения заряда по поверхности барабана коронного сепаратора с импульсным генератором напряжения

**Лосев Тимофей Сергеевич**

Матусевич Леонид Петрович

Уральский федеральный университет

Чепусов Александр Сергеевич, к.т.н.

[tslosev@urfu.ru](mailto:tslosev@urfu.ru)

Коронные барабанные сепараторы применяются для обогащения измельченной породы. При прохождении через сепаратор происходит разделение проводящей и непроводящей фракций. Одним из преимуществ коронных барабанных сепараторов является то, что разделение материалов происходит на разных сторонах барабана, что способствует более эффективной сепарации [1]. Но устройства с постоянным